

Tintenfische — ihre Präparation und mikroskopische Untersuchung

I. Äußerer Bau; Saugnäpfe, Radula, Auge

Während Tintenfische — besser gesagt: Tintenschnecken oder Kopffüßer (Cephalopoden) — bisher als geheimnisvolle und unheimliche Meerestiere galten und bei uns in Deutschland nur Mittelmeer-Reisenden und Zoologen besser bekannt waren, sind sie in letzter Zeit dank der verbesserten Tiefkühltechnik als Nahrungsmittel auch bis ins Binnenland gekommen. Wir haben also die Möglichkeit, Tintenfische leicht zu erhalten, um sie zu präparieren und ihren Bau genauer kennenzulernen:

Versucht der zoologisch interessierte Mikroskopiker oder selbst der Zoologe, die hochinteressanten Tintenfische zu präparieren und mikroskopisch zu untersuchen, so wird er bald eine empfindliche Lücke in der evtl. zur Verfügung stehenden Literatur feststellen (z. B. KÜKENTHAL-MATTHES-RENNER, 1967; JAECKEL, 1953): Während es sich bei den in Deutschland in letzter Zeit

in größeren Fischgeschäften oder den Fischabteilungen der Kaufhäuser für wenig Geld erhältlichen, tiefgefrorenen Tintenfischen meist um nordamerikanische Angehörige der Kalmare (Unterordnung: *Teuthoidea*) handelt, und zwar um Vertreter der Gattung *Loligo*, z. B. *Loligo pealii*, sind die Präparationsanleitungen stets auf den klassischen, im Mittelmeer sehr häufigen, bei uns aber praktisch nicht erhältlichen *Sepia officinalis* zugeschnitten. Diese beiden Arten sind im Bau zum Teil recht verschieden, so daß eine erste Orientierung in den meist durchscheinenden, mehr oder weniger weißlichen Organen bei *Loligo* und Verwandten äußerst schwierig ist.

Ich möchte daher versuchen, zunächst eine Präparationsanleitung zu geben und daran anschließend jeweils auf die Untersuchung besonders interessanter Einzelheiten einzugehen. Für Interessenten, die tiefer in den Bau der Tiere eindringen wollen, liefert die Biologische Anstalt Helgoland¹ im allgemeinen fixierte Tintenfische (sogar mit ihren Entwicklungsstadien), meist der kleineren Nordsee-Art *Alloteuthis subulata*, zu allerdings erheblich höheren Preisen. Zur Präparation eignet sich solch fixiertes Material wegen der Härte und Brüchigkeit der Septen und Organe sehr viel schlechter als das tiefgefrorene; lediglich für histologische Schnitte ist selbstverständlich gut fixiertes Material erwünscht. Zunächst sollte man sich an einem gerade aufgetauten Tier einmal die äußere bilateralsymmetrische Organisation dieser hochorganisierten Räuber unter den Weichtieren (*Mollusca*) anschauen, wie sie Bild 1 zeigt: Der von den Schnecken und Muscheln bekannte Fuß ist hier teilweise im Dienst der Ernährung und Fortpflanzung zu stark muskulösen Armen mit kräftigen Saugnäpfen umgewandelt, die den Mund umgeben. Sie werden nämlich nach wie vor vom Pedalganglion (bzw. den

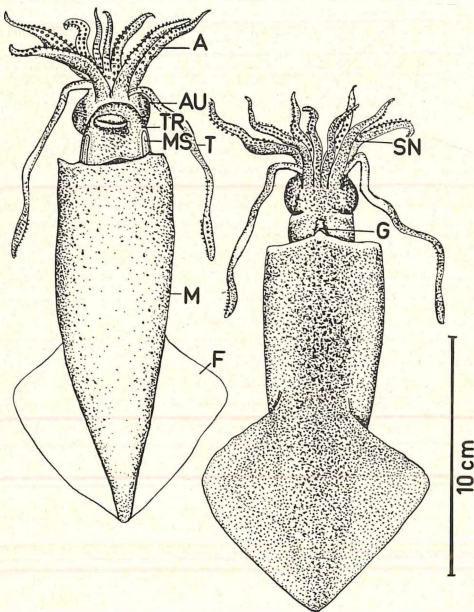


Bild 1: *Loligo*, links von der Ventral-, rechts von der Dorsalseite gesehen. A Arm, AU Auge, F Flosse, G Gladius, M Mantel, MS Mantelschließapparat, SN Saugnapf, T Tentakel, TR Trichter.

davon abgegliederten Brachialganglien) mit Nerven versorgt (innerviert), das bei den übrigen Mollusken den Fuß innerviert. Zu einem anderen Teil ist der Fuß zum sog. Trichter umgebildet, der — zumindest bei der Unterklasse der Zweikiemer (*Dibranchiata*) — ein geschlossenes Rohr darstellt. Mit seiner Hilfe kann ein aus der Mantelhöhle herausgepreßter Wasserstrahl in bestimmte Richtungen abgelenkt werden, so daß dem Tier ein gezieltes Schwimmen nach dem Rückstoßprinzip möglich ist. Die Tiere sind sehr gewandte Dauerschwimmer im küstennahen Meeresbereich; sie können durch entsprechende Abbiegung des Trichters sowohl vorwärts, als auch rückwärts schwimmen. Im Trichter liegt neben einer Schleim- oder Trichterdrüse noch eine Hautfalte, die Trichterklappe, die das Einströmen des Wassers auf diesem im Sinne einer guten Atmung (s. u.) unerwünschten Wege verhindert. Die Abstammung des Trichters vom Fuß zeigt sich auch hier wieder daran, daß zumindest der vordere Teil vom Pedalganglion innerviert ist. Vom Kopf des Tieres erkennt man zunächst recht wenig: Auffällig sind zwei sehr große, weil für einen Räuber zweifellos sehr wichtige Augen und in der zwischen den Armen liegenden Mundöffnung häufig zwei Kiefer. Gut zwei Drittel des Tieres bestehen aus dem stark verlängerten Eingeweidesack oder Rumpf, außen gebildet vom Mantel, im Inneren die Eingeweide und auf der Bauch- oder Ventralseite eine Tasche, die Mantelhöhle, enthaltend. Am „Körperende“ (Kalmare schwimmen so, daß die eigentliche Vorderseite des Tieres zur Ober- oder Rückenseite, entsprechend die eigentliche Rückenseite zum Körperende wird) finden sich artspezifisch ausgebildete Mantelfalten, die Flossen.

Bevor wir mit der Präparation des Eingeweidesacks beginnen, lohnt sich eine genauere Untersuchung des Kopffußes mit Armen, Schlund und Augen. Unter den 10 Armen fallen zunächst einmal zwei durch ihre bedeutend größere Länge auf, falls sie nicht vorher bei unvollständigem Auftauchen der Tiere abgerissen wurden. Sie tragen nur am Ende an einem keulenförmig erweiterten Bereich Saugnäpfe. Es handelt sich hierbei um die sog. Fangarme oder Tentakel (Bild 1), die eine Beute zunächst ergreifen und blitzschnell in den Bereich der übrigen acht Arme heranziehen. An

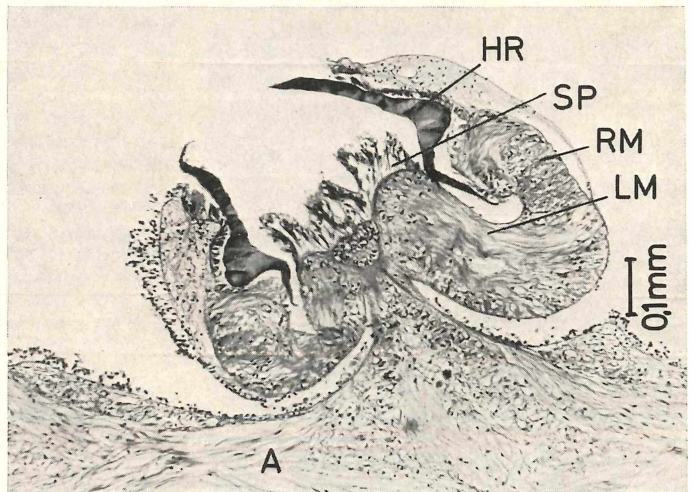
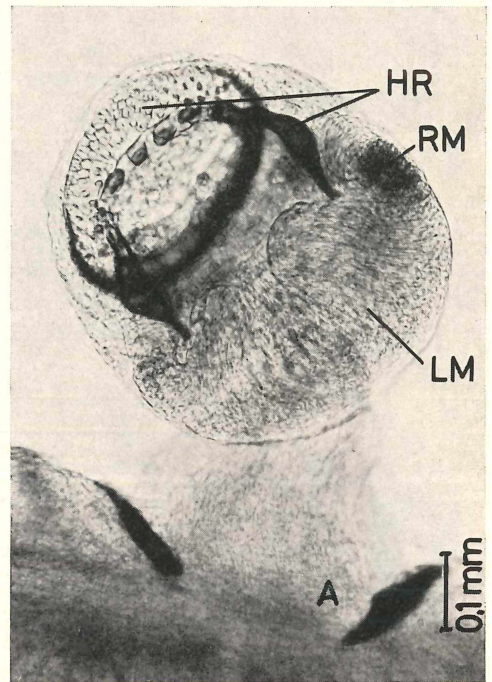


Bild 2: Saugnapf am Arm von *Alloteuthis*; oben ungefärbtes Totalpräparat, unten Längsschnitt, mit Hämalun-Eosin gefärbt. A Arm, HR „Horn“ring, LM Längsmuskel, RM Ringmuskel, SP Saugpolster.

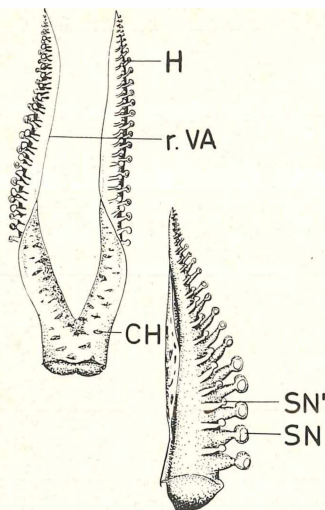
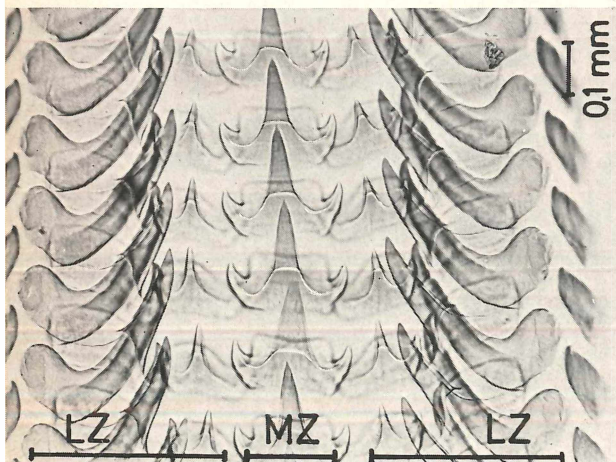
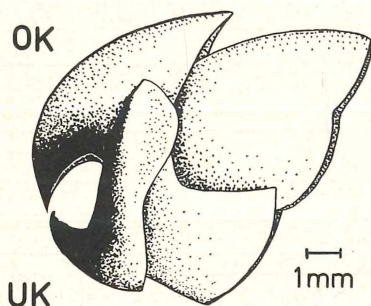


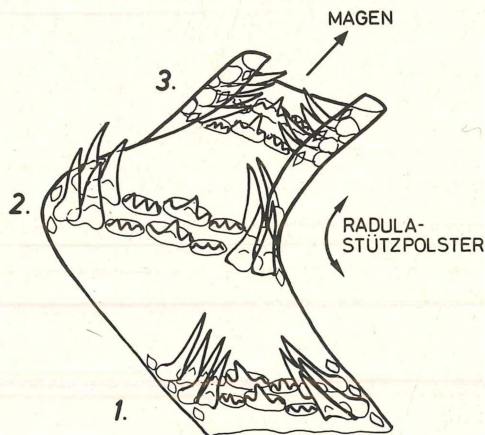
Bild 3: Männlicher Begattungsarm, sog. Hektokotylus (H), von *Loligo*; links im Vergleich zum rechten Ventralarm (r. VA), rechts in stärkerer Vergrößerung. CH Chromatophoren, SN Saugnapf, SN' abgewandelter Saugnapf am Hektokotylus.

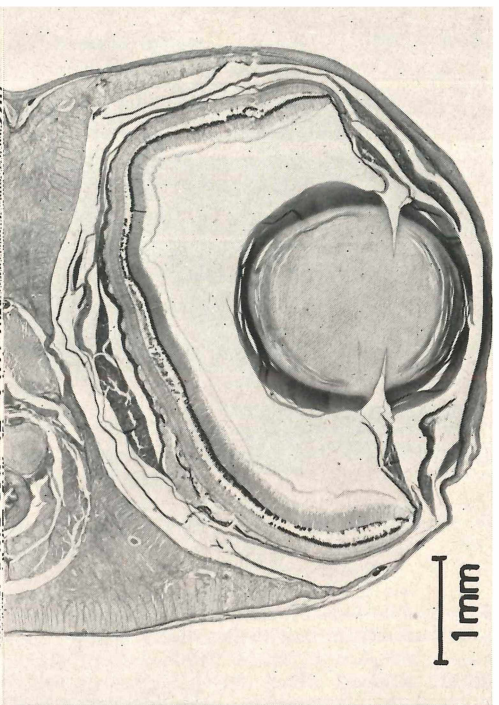
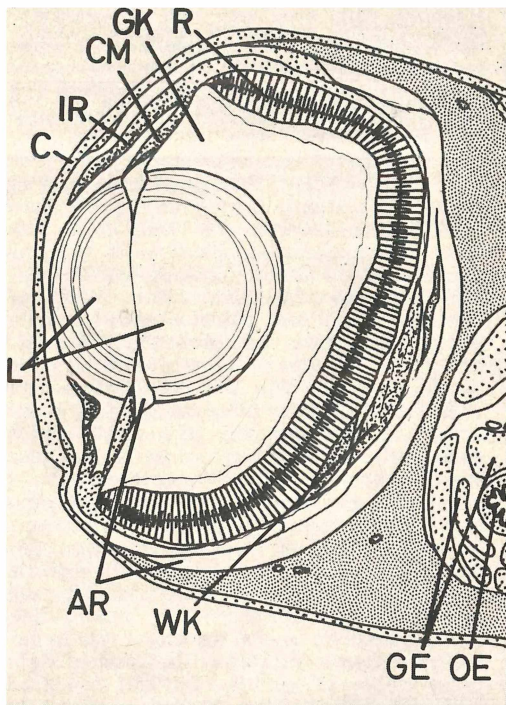
Bild 4: Kieferapparat von *Loligo* mit Oberkiefer (OK) und Unterkiefer (UK).



diesen kürzeren Armen fallen die zahlreichen, abwechselnd in zwei Reihen stehenden, großen Saugnäpfe auf, deren bei den Zehnarmigen Tintenfischen (*Decabrachia*) bilateraler Bau und Funktion sich sehr gut zeigen läßt. Mit Hilfe einer Rasierklinge läßt sich ein größerer Saugnapf an einem Stück Arm entweder in frischem oder besser noch in formol- oder alkoholfixiertem Zustand halbieren, an dem dann bereits ohne Mikrotom der grobe Aufbau zu erkennen ist. Zusätzlich können wir Dauerpräparate von ganzen Saugnäpfen anfertigen, indem wir die Armspitzen über die aufsteigende Alkoholreihe entwässern und ungefärbt in Harz einbetten (Bild 2a). Die Saugnäpfe arbeiten nach dem Prinzip des Unterdruck-Saugers, wie wir bereits an einem auf die Handfläche aufgedrückten und wieder abgezogenen Armstück eines möglichst großen Tintenfisches mit entsprechend mächtigen Saugnäpfen feststellen können. Ein kräftiger „Horn“ring aus Keratochitin, zum Teil mit Zähnen bewehrt, versteift die Mündung einer Saugkammer (Bild 2). Durch Kontraktion u. a. eines Ringmuskels kann die Außenwand des Saugnapses armwärts geschoben und das Lumen der Kammer verkleinert werden; ein Saugpolster legt sich der Beute an. Durch Kontraktion radiär angeordneter Längsmuskeln und durch den Zug auf den Boden der Kammer, z. B. durch Fluchtbewegungen der Beute, entsteht im Inneren des bei den Kalmaren auf einem muskulösen Stiel sitzenden Saugnapses ein Unterdruck, der den bezahnten Hornring kräftig in die Beute hineindrückt und sie festhält. Für genauere Untersuchungen sind allerdings Mikrotomschnitte durch gut fixiertes Material erforderlich. Auf solchen Schnitten (Bild 2) ist zuäuserst die

Bild 5: Spreizzahnradula von *Loligo*; links Ausschnitt aus einem ungefärbten Totalpräparat, rechts Funktionsschema mit nur in drei Bereichen eingezeichneten Zähnen. Z Lateral- oder Seitenzähne, MZ Mittelzähne.





sehr zarte, zum Teil abgeschürfte Epidermis zu sehen, darunter eine dicke Bindegewebsschicht oder Cutis, mit vielen in verschiedenen Richtungen angeschnittenen Muskelbündeln und einigen Nerven. Auch den Bau des Hornringes erkennt man gut im Querschnitt.

Bei genauerer Betrachtung des linken Ventralarmes einer größeren Anzahl von Tieren fallen gewisse Unterschiede auf, wobei die Ventralseite die hellere und sich nicht durch die später noch zu besprechende innere Schale fest anfühlende Seite ist. Es handelt sich bei männlichen Tieren hierbei um den Begattungsarm, den sog. Hektokotylus, an dem man sie schon äußerlich erkennen kann. Mit seiner Hilfe wird bei der Begattung das Sperma, in Form der später noch zu besprechenden Spermatophoren, auf das Weibchen übertragen, wo es im ventralen Bereich des Mundfeldes, in der auf der Mundmembran gelegenen Bursa copulatrix, aufbewahrt wird und die vorbeistreichenden Eier befruchtet. Dieser Hektokotylus (Bild 3) zeichnet sich bei *Loligo* dadurch aus, daß auf der Innenseite die Saugnäpfe mehr oder weniger reduziert sind und als Papillen auf langen und schmalen Stielen sitzen. Breiten wir die Arme sternförmig auseinander, so wird das Mundfeld frei, in dem wir in der Mitte die dunkelbraune Spitze des Unterkiefers erkennen. Zwei runde Lippen innerhalb eines sog. Buccaltrich-

Bild 6: Querschnitt durch den Kopf von *Alloteuthis* in Höhe der Augen; a. Übersicht, linke Hälfte in schematischer Darstellung, rechte Hälfte fotografiert nach Azan-gefärbtem Schnittpräparat. AR präparationsbedingte, künstliche Spalträume (Artefakte), C Cornea, CM Ciliar-muskel, LANGERSCHER Muskel, GE Gehirn, GK „Glaskörper“, IR Iris, L Linse, OE Speiseröhre oder Ösophagus, R Retina, WK Weißer Körper;

ters mit sieben ansitzenden, rückgebildeten Ärmchen umgeben die Mundöffnung. Bei frischen Tieren kann man nun leicht den Schlund als kugeliges Gebilde ganz nach vorn aus der Mundöffnung herausdrücken und Kiefer und Reibplatte oder Radula zu präparieren versuchen. Zunächst lassen sich die sehr kräftigen Ober- und Unterkiefer mit einer Pinzette ohne Mühe herausziehen (Bild 4). Sie erinnern an einen Papageienschnabel, wobei allerdings der Oberkiefer hier in den Unterkiefer beißt, und verraten sehr gut die räuberische Lebensweise der Tintenfische. (Während Kalmare im allgemeinen vor dem Taucher oder Schnorchler fliehen, soll man z. B. als Mittelmeer-Urlauber ja gerade wegen solcher Kiefer größere Kraken nicht zu fangen versuchen, da sie empfindlich zu beißen verstehen.) In der Mitte der nun entstandenen Öffnung im Schlund liegt auf einem etwas eingedellten Polster ein scheinbar wenige Millimeter großes, etwas dunkler als das übrige Gewebe gefärbtes und vor allem mattes Häutchen. Man kann es auf der Vorderseite mit einer spitzen

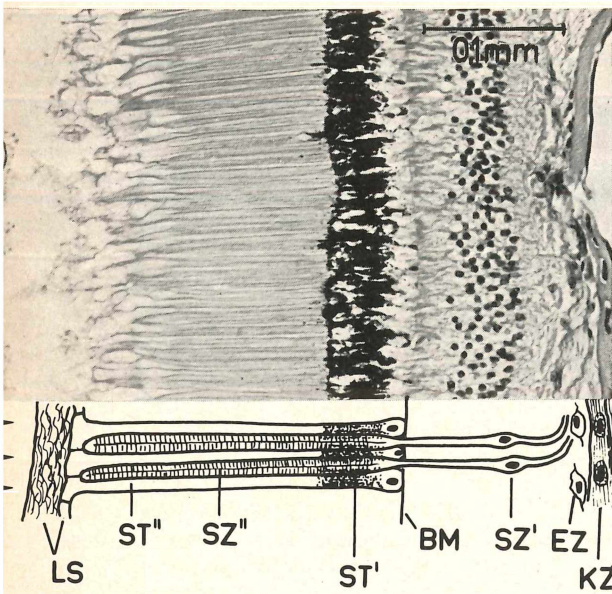


Bild b: Ausschnitt aus der Retina von *Alloteuthis*, oben im Foto nach Azan-gefärbtem Schnittpräparat, unten im gleichorientierten Schema. BM Basalmembran, EZ Epithelzelle, KZ Knorpelzelle, LS Grenzmembran oder Limitansschicht, ST' Teil der Stützzellen mit Kern und Pigment, ST'' Zelleiber der Stützzellen, SZ' Teil der Sehzellen mit Kern und Pigment, SZ'' Stäbchen der Sehzellen.

Pinzette anheben und vollends herausziehen, wobei ein ziemlich langes Organ, die ca. 7 bis 9 mm lange Radula zum Vorschein kommt. Wird im mittleren Bereich noch eine ringförmige, verhärtete Verbindung durchtrennt, so kann man das Gebilde auf einem Objektträger ausbreiten und in Wasser oder Glycerin unter dem Mikroskop untersuchen. Selbstverständlich kann man den ganzen Schlund auch in Kalilauge kochen und so Kiefer und Radula in noch sauberem und vor allem vollständigerem Zustand gewinnen. Während die Radula der Weinbergschnecke z. B. sehr einförmig gebaut ist, und zwar mehr oder weniger länglich-rechteckig mit einer Unzahl ziemlich gleichartiger, in Längs- und Querreihen stehenden Zähnen, fällt hier zunächst die abweichende äußere Form auf. Im vorderen Bereich umgeben breite Seitenteile ohne Zähne mehrere Reihen von nach hinten, also magenwärts gerichteten Zähnen. Dies war der zur Zeit des Fanges des vorliegenden Tieres gerade funktionstüchtige Teil der Radula; am Vorderrand wurde sie langsam aufgelöst und die Zahnchen verschluckt, während in dem schmalen, in einer als Radulatasche bezeichneten Hautröhre steckenden Bereich die Unterlage der Radula, die Radulamembran, verlängert wurde und ihr neue Zähne aufgelagert wurden. Dadurch kann sich solch eine Radula insgesamt ständig nach vorn nachschieben und die abgenutzten Teile ersetzen. Bei den Radulazähnen fällt auf, daß hier nur sieben Reihen angelegt sind: eine Reihe dreispitziger Mittelzähne und jederseits drei Reihen Seitenzähne, die nach außen zu größer und vor allem

einspitzig werden (Bild 5). Einen solchen Radulatype nennt man eine Spreizzahnradula oder taenioglosse Radula, da die beiden Randzähne auf jeder Seite mit nur schmaler Basis und somit gelenkig auf der Radulamembran befestigt sind. Man hat sich die Funktion einer solchen Radula ähnlich der eines kombinierten Schaufel- und Greifbaggers vorzustellen (siehe KAESTNER, 1969): Die Radula ist zwar von vorn bis hinten fest angewachsen; sie kann aber dennoch mehr oder weniger über das darunterliegende, auch selbst bewegliche Radulastützpolster vor- oder zurückgezogen werden. Dabei bildet sich über dem Radulapolster eine Knickkante und dahinter eine Eindellung aus, wie bereits bei der Präparation zu erkennen war. Wird die Radula während der Vorwärtsbewegung des Stützpolsters über dessen Kante gezogen, so spreizen sich an dieser Stelle jeweils die Randzähne ab (Bild 5 rechts, Stelle 2), genau wie es zum Teil auf dem Objektträger der Fall ist. Weiter magenwärts (s. Bild 5, Stelle 3) legt sich die Radula in die Eindellung, und die Zähne klappen zusammen. Man kann sich nun sehr gut vorstellen, daß die Radulakante sich zunächst an ein von den Tentakeln und Armen festgehaltenes und evtl. von den Kiefern abgetrenntes Stück Beutefleisch anlegt, wobei die Zähne maximal gespreizt sind, und daß in dem Augenblick, in dem die Radula zurückgezogen wird, die Seitenzähne zangenartig zusammenklappen, ein eingeklemmtes Stück Fleisch losreißen und in den Verdauungstrakt weiterschieben. Um ein Dauerpräparat der sehr interessanten Radula zu erhalten, müssen wir sie lediglich, zwischen zwei Objektträger gepreßt, über die aufsteigende Alkoholreihe entwässern (und zugleich fixieren) und über ein Zwischenmedium in Harz einbetten. Eine Färbung, die prinzipiell mit Plasmafarbstoffen wie z. B. Eosin möglich wäre, bringt keine großen Vorteile, da das Organ anschließend meist lediglich mehr oder weniger einheitlich rot getönt ist. Allerdings ist zur Einbettung ein Harz mit niedrigem Brechungsindex, wie z. B. Rhenohistol oder gar Eukitt, zur Kontraststeigerung vorteilhaft.

Vom Aufbau des Auges läßt sich, außer der Größe des Organs und der nierenförmigen Irisöffnung, mit einfachen Mitteln wenig erkennen, vor allem auch wegen der schlechten Erhaltung dieses empfindlichen Organs nach der Tiefgefrierung.

Lediglich die Linse als außerordentlich hartes Kügelchen läßt sich herauspräparieren. Die Augen der Tintenfische sind absolut (bis 40 cm Durchmesser!) und relativ zur Körpergröße die größten im Tierreich. Auch die Möglichkeit eines Pupillenspiels ist einmalig unter den Wirbellosen und läßt die Tiere noch „unheimlicher“ ausschauen. Zum genaueren Studium sind Schnitte durch bestens fixiertes Material (z. B. Köpfe von *Alloteuthis*, Bouin fixiert, von der Biologischen Anstalt Helgoland) nötig. Allerdings bereiten die Einbettung in Paraffin o. ä. und die Schnitterstellung selbst (soweit man auf eine Erhaltung der Linse Wert legt und sie nicht vorher entfernt) große Mühe und führen im allgemeinen nur mit einer gehörigen Portion Glück zum Erfolg. Künstlich entstandene Spalträume lassen sich fast nie völlig vermeiden. Auf einem mehr oder weniger gut gelungenen Schnitt durch ein solches Linsenauge können folgende Einzelheiten erkannt werden (Bild 6a): Außen vor der Linse liegt die Cornea, die an einer meist in den Schnitten nicht getroffenen Stelle eine Öffnung aufweist. Nach innen zu schließt sich eine Iris an, die durch ihre Pigmentierung auffällt und der Linsenvorderseite aufliegt. Die beiden aufeinanderliegenden Linsenhalbkugeln sind konzentrisch geschichtet und an einem muskulösen Aufhängeband befestigt, dem Langerschen Muskel oder Ciliarmuskel. Da die Linsenform, wie bei der Präparation festzustellen war, nicht verändert werden kann, findet eine Akkommodation durch Änderung des Linsenabstandes von der Retina durch Erhöhung oder Erniedrigung des Augeninnendrucks statt. Die innere Augenkammer wird von dem meist durch die Fixierung mehr oder weniger geschrumpften „Glaskörper“ ausgefüllt und nach hinten zu von der Netzhaut oder Retina begrenzt. In ihr sind scheinbar eine Reihe von Schichten zu erkennen; in Wirklichkeit liegen jedoch nur die Zellkerne und Pigmentkörner bestimmter Zelltypen in unterschiedlicher Höhe, während die Zelleiber eine zumindest teilweise gemeinsame Schicht bilden. Es sollte sich allerdings bei einer ersten Untersuchung um Schnitte durch ein ausdifferenziertes Auge handeln und nicht um einen Schnitt durch das einfachere zu schneidende und daher häufiger abgebildete, noch unfertige Auge gerade geschlüpfter Tintenfische (s. STREBLE, Mikrokosmos 51, S. 127, 1962). Am auffälligsten in der Retina (Abb. 6b) ist ein Bereich mit den Kernen der Sehzellen, die in den Sehzellkörpern außerhalb einer Basalmembran liegen; letztere ist meist schwer zu erkennen und weist Öffnungen auf, durch die die Stäbchen der Sehzellen linsenwärts hindurchtreten. Unmittelbar nach dem Durchtritt enthalten

sie Pigment. Zwischen den sehr zahlreichen Stäbchen (viele Zehn- bis Hunderttausend pro mm²) liegen in ebenfalls großer Zahl Stütz- oder Limitanszellen auf der Basalmembran. Die Kerne und Pigmentkörner dieser auch als Zwischenzellen bezeichneten Zellen liegen unmittelbar über der Basalmembran, während die Zelleiber zwischen den Stäbchen hindurchziehen und diese sogar noch überragen, indem sie sich zum Augenninneren zu aufspalten und eine relativ dicke, schwammige sog. Grenzmembran oder Limitansschicht abschneiden (s. HESSE, 1900; WILBUR - YONGE, 1966). Im ganzen gesehen handelt es sich also um ein everses Linsenauge mit dem Licht unmittelbar zugekehrten Sehzellen, das durch Einstülpung der ektodermalen Körperoberfläche entstanden ist (s. u.). Demgegenüber liegen beim ähnlich aussehenden Wirbeltierauge die einzelnen Schichten der Retina umgekehrt oder invers, so daß das Licht zunächst die übrigen Schichten der Netzhaut passieren muß, ehe es die lichtempfindlichen Sehzellteile erreicht. Ein vergleichendes Schema zur Entstehung der beiden Augentypen findet sich in den meisten zoologischen Lehrbüchern. Die sich bei den Tintenfischen an die Sehzellen anschließenden Neuriten treten seitlich aus dem Auge aus, so daß selten ein Anschnitt des Sehnervs in Augenquerschnitten zu erwarten ist, und erreichen nach einer Überkreuzung in einem sog. Chiasma das Ganglion opticum. Es ist ebenso wie große Teile des Auges von Knorpel umgeben. Dieser Knorpel bietet schon das typische Bild, wie es auch bei höheren Tieren wie zum Beispiel den Wirbeltieren auftritt; und zwar handelt es sich um einen grundsubstanzarmen Knorpel mit polygonalen, nicht abgerundeten und häufig in einer Schicht angeordneten Zellen. Meist findet sich in unmittelbarer Nähe des Auges noch ein Anschnitt durch den sog. „Weißen Körper“ (siehe Bild 6a), dessen Funktion die Blutbildung sein soll. Das sich anschließende Gehirn soll erst später besprochen werden.

Literaturhinweise: siehe Ende von Teil III.

Erläuterung:

¹ Die Biologische Anstalt Helgoland liefert konservierte Tintenfische. *Loligo forbesi* (je nach Größe zwischen 2,— und 5,— DM), *Alloteuthis subulata* (DM 1,50), Köpfe von *Alloteuthis*, Bouin (1,— DM), frisch geschlüpfte *Alloteuthis* (Portion, etwa 25 Stück, 2,50 DM). Am besten fordert man ein Preisverzeichnis an. Die Adresse: Biologische Anstalt Helgoland, Abt. Materialversorgung, Meeresstation, 2192 Helgoland.

Verfasser: Dr. Hans-Jürgen Hoffmann, 5 Köln-Lindenthal, Weyertal 119, Zoologisches Institut der Universität zu Köln.